

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 196 32 637 A 1

51 Int. Cl.⁶:
G 06 T 17/00
G 02 B 21/00

21 Aktenzeichen: 196 32 637.0
22 Anmeldetag: 13. 8. 96
43 Offenlegungstag: 19. .2. 98

DE 196 32 637 A 1

71 Anmelder:
Schwertner, Michael, 07745 Jena, DE

74 Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

72 Erfinder:
gleich Anmelder

56 Entgegenhaltungen:
DE 39 03 838 C2
KRÄMER, H.: Ein Verfahren zur Tiefenschärfenerweiterung bei mikroskopischen Abbildungen unter Einsatz eines digitalen Bildverarbeitungssystems. In: Proceedings Mustererkennung 1984, Springer-Verlag, Berlin u.a., 1984, S. 84-90;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Verfahren zur Erzeugung parallaktischer Schnittbildstapel für die hochauflösende Stereomikroskopie und/oder 3D-Animation mit konventionellen, nicht stereoskopischen Lichtmikroskopen

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung parallaktischer Schnittbildstapel aus einem einzigen Ausgangs-Schnittbildstapel. Das Verfahren wird in Verbindung mit konventionellen Lichtmikroskopen und Verfahren zur nichtlinearen Erweiterung der Schärfentiefe zur hochauflösenden stereoskopischen Darstellung mikroskopischer Objekte angewendet. Dabei ist die Erzeugung parallaktischer Schnittbildstapel die Voraussetzung, um durch deren nichtlineare Schärfentieferweiterung zwei schärfentieferweiterte Abbildungen zu erzeugen, die ein Stereobildpaar bilden, durch dessen Betrachtung das mikroskopische Objekt räumlich gesehen werden kann. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die Erzeugung derartiger Serien ohne Modifikation des Lichtmikroskops. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Möglichkeit zur Erzeugung hochauflösender 2-D- und 3-D-Animationen des räumlichen Objektes durch Generierung einer Serie von Schnittbildstapeln bzw. Schnittbildstapelpaaren.

DE 196 32 637 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 12. 97 702 068/155

10/23

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung parallaktischer Schnittbildstapel, für die hochauflösende Stereomikroskopie gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. 5.

In der Patentanmeldung 195 04 108.9 ist ein Verfahren vorgeschlagen, welches unter Verzicht auf eine reale dreidimensionale Abbildung die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Objekte durch nichtlineare Schärfentieferweiterung zweier parallaktischer Schnittbildstapel, die ein Schnittbildstapel bilden, ermöglicht, indem aus diesen Schnittbildstapel zwei schärfentieferweiterte Abbildungen erzeugt werden, die ein Stereobildpaar bilden, durch dessen Betrachtung das mikroskopische Objekt räumlich gesehen werden kann.

Dort wurde weiterhin eine Möglichkeit zur objektseitigen Generierung parallaktischer Schnittbildserien angegeben, welche auf direkte Weise mit Hilfe eines auf dem Mikroskop optisch angeordneten Kippadapters erfolgt. Diese Art der Generierung parallaktischer Bildserien hat mehrere Nachteile:

Die technische Realisierung einer in x-y-Richtung unabhängigen Objektführung ist schwierig.

Weiterhin müssen verfahrenstechnische Kompensationsmöglichkeiten für auftretende Toleranzen in der Objektglasdicke und der Dicke des Einbettungsmediums vorgesehen sein, um unterschiedliche Lagen des mikroskopischen Objektes in Bezug auf die Drehachse des Kippadapters auszugleichen.

Schließlich ist die Darstellung stark doppelbrechender Objekte nur sehr eingeschränkt möglich, da durch die Änderung der Orientierung des mikroskopischen Objektes relativ zur optischen Achse des Mikroskopes Polarisationsänderungen die parallaktische Information der Abbildung verfälschen.

Ein Teil dieser Nachteile kann durch eine weitere Form der direkten Bildgenerierung im abbildungsseitigen Strahlengang des Mikroskopes vermieden werden, welche in der Patentanmeldung PCT/EP 96/00533 vorgeschlagen wurde. Die Aufnahme der parallaktischen Schnittbildserien wird dort durch alternierende Neigung des Mikroskopobjektives relativ zur optischen Achse des Mikroskopes in Verbindung mit einer optischen Baugruppe zur Strahlkorrektur erreicht. Diese Anordnung verlangt eine erhebliche Modifikation des Mikroskopes, ermöglicht jedoch die Vereinfachung der Objektführung und erfordert keine zusätzlichen Kompensationsmöglichkeiten der Objektglasdicke.

Ein weiterer erheblicher Nachteil der o. g. Verfahren der direkten Erzeugung parallaktischer Schnittbildserien besteht darin, daß der Scannvorgang zweimal wiederholt werden muß. Insbesondere bei Aufnahmen von Schnittbildserien unter schwachen Lichtverhältnissen, wie zum Beispiel bei der Fluoreszenzmikroskopie, entsteht durch die Verdopplung der an sich schon langen Objektscannzeit eine deutlich höhere Belastung des mikroskopischen Objektes (Ausbleichen durch Anregungslicht).

Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn während des Scannvorganges zusätzliche Operationen zur Bildverbesserung, wie zum Beispiel Mehrfachbelichtungen zur Erweiterung des Dynamikumfangs angewendet werden.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Erzeugung parallaktischer Schnittbildstapel für die hochauflösende Stereomikroskopie anzugeben, welches

ohne mechanisch bewegte Komponenten und den damit verbundenen Nachteilen auskommt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine indirekte Bildgenerierung gelöst, bei der die Erzeugung der beiden parallaktischen Schnittbildstapel durch Extraktion aus einem einzigen Ausgangs-Schnittbildstapel durch geometrische Transformation erfolgt.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens bestehen darin, daß die Generierung parallaktischer Schnittbildserien ohne zusätzliche Modifikation des Mikroskopes möglich ist. Dadurch bleibt die bisher übliche Technik der Objektführung erhalten. Weiterhin reduziert sich die Zeit zur Objektscannung im Vergleich zu direkten Bildgenerierungsverfahren wodurch sich insgesamt kürzere Durchlaufzeiten für den Gesamtprozeß der stereoskopischen Objektdarstellung ergeben. Dieser Zeitvorteil fällt insbesondere bei Anwendungen mit geringem Licht, wie zum Beispiel der Fluoreszenzmikroskopie, ins Gewicht, da hier die Objektscannzeit wegen der langen Belichtungszeiten pro Schnittbildebene im Vergleich zur Prozeßrechenzeit besonders groß ist. Zusätzlich ist auch die Darstellung stark doppelbrechender Objekte ohne Schwierigkeiten möglich.

Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren an einem Ausführungsbeispiel und unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert.

Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine prinzipielle Darstellung zur Erzeugung von Schnittbildstapeln;

Fig. 2 ein Schnittbild;

Fig. 3 einen nicht normierten Schnittbildstapel;

Fig. 4 ein Ausgangs-Schnittbildstapel nach erfolgter Normierung; und

Fig. 5—9 Prinzipien der Extraktion eines linken und rechten parallaktischen Schnittbildstapels.

Zur Erzeugung der beiden parallaktischen Schnittbildstapel wird ein Ausgangs-Schnittbildstapel benötigt. Dieser entsteht entsprechend Fig. 1, indem der Schärfentiefe-Bereich δz des Mikroskop-Objektives in diskreten Schritten Δz entlang der optischen Achse A des Mikroskopes durch das mikroskopische Objekt O geführt wird und in diskreten Fokuspositionen ein Schnittbild aufgenommen wird. Dabei entsteht eine Serie optischer 2D-Abbildungen des mikroskopischen Objektes, welche in digitaler Form die Schnittbilder des Ausgangs-Schnittbildstapels bilden.

Die Fokusschrittweite Δz (im Objektraum bei der Aufnahme des Schnittbildstapels) ist kleiner oder gleich der beugungsbegrenzten Schärfentiefe δz des optisch abbildenden Systems. Die Anzahl N_{\max} der Schnittbildebene wird so gewählt, daß die gesamte Raumtiefe des interessierenden mikroskopischen Objektes lückenlos erfaßt wird.

Dieser oben genannte Ausgangs-Schnittbildstapel besteht aus einer Anzahl von N_{\max} Schnittbildern, die jeweils in x-Richtung eine Auflösung von X_{\max} und in y-Richtung eine Auflösung von Y_{\max} Pixeln besitzen (siehe Fig. 2).

Der Ausdruck $P(x; y; n)$ bezeichnet den Pixel mit den Koordinaten $(x; y)$ innerhalb des Schnittbildes Nummer n des Ausgangs-Schnittbildstapels, wobei für das unterste Schnittbild $n = 0$ und für das oberste Schnittbild $n = N_{\max} - 1$ gilt (siehe Fig. 3).

Vor der eigentlichen Extraktion der beiden parallaktischen Schnittbildstapel muß der Schnittbildstapel normiert werden. Diese Normierung hat zum Ziel, eine Art Datenwürfel vom aufgenommenen Objekt zu erhalten, der in x-y- und in z-Richtung den gleichen pixelbezoge-

nen Abbildungsmaßstab in Bezug auf das abgetastete Objekt hat und damit entsprechende Winkelbeziehungen der Objektpunkte innerhalb des Ausgangsschnittbildstapels verzerrungsfrei wiedergibt. Dies wird durch Festlegung des jeweiligen Schnittbildabstandes Δz^* der einzelnen Schnittbilder im normierten Ausgangs-Schnittbildstapel erreicht.

Für diese Normierung wird folgendes vorausgesetzt: Das optisch abbildende System besitzt in x- und in y-Richtung den gleichen Abbildungsmaßstab. Die Breite des Gesichtsfeldes wurde vollständig in die X_{\max} Pixel der einzelnen Teilbilder des Ausgangsschnittbildstapels abgebildet. Das Gesichtsfeld, welches in der Abbildung eine Breite von X_{\max} Pixeln hat, besitzt im Objektraum die Breite Δx .

Beim Abtasten des Objektraumes wurde die Fokusschrittweite Dz (gemessen im Objektraum) gewählt.

Unter diesen Voraussetzungen gilt für den normierten Schnittbildabstand Δz^* in Pixeln:

$$\Delta z^* = \frac{(\Delta z)(X_{\max})}{\Delta x}$$

Bei der Normierung des Ausgangs-Schnittbildstapels bekommt also jedes Schnittbild des nicht normierten Ausgangs-Schnittbildstapels zusätzlich zur Bildnummer n die Höhe

$$z^* = n(\Delta z^*) \text{ bzw. } z^* = n(\Delta z)(X_{\max})/(\Delta x)$$

zugewiesen. Dabei gibt n , wie schon erwähnt, die Nummer bzw. die Position des Schnittbildes im nicht normierten Ausgangs-Schnittbildstapel an ($0 \leq n \leq N_{\max} - 1$).

Das Ergebnis dieser Normierung ist der normierte Ausgangs-Schnittbildstapel (siehe Fig. 4). Alle Schnittbilder liegen hier parallel zur x-y-Ebene in jeweils einer diskreten Höhe z^* . Alle Pixel der verschiedenen Teilbilder mit gleichen x-y-Koordinaten liegen auf einer Geraden parallel zur z-Achse, die Bildkanten sind parallel zur x- bzw. y-Achse. Als Mittelachse wird eine Parallele zur z-Achse bezeichnet, die alle Teilbilder des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels in ihrem Bildmittelpunkt schneidet, der als Schnittpunkt der beiden Bilddiagonalen des jeweiligen Schnittbildes definiert ist. Der normierte Ausgangs-Schnittbildstapel und dessen Mittelachse sind in Fig. 4 abgebildet.

Die Extraktion des linken und des rechten parallaxtischen Schnittbildstapels aus dem normierten Ausgangs-Schnittbildstapel wird nun folgendermaßen realisiert (siehe Fig. 5): Es wird ein Extraktionspunkt L festgelegt, der im x-y-z-Koordinatensystem über dem obersten Schnittbild des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels liegt (Höhe $z^* > (\Delta^*) (N_{\max} - 1)$) und die gleiche y-Koordinate wie die Mittelachse besitzt. Der Schnittpunkt der Mittelachse mit dem untersten Schnittbild des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels (Höhe $z^* = 0$) wird Fußpunkt F genannt. Die Strecke LF und die Mittelachse schließen den Extraktions-Teilwinkel θ_L ein.

Nun beginnt die Extraktion des linken parallaxtischen Schnittbildstapels aus dem normierten Ausgangs-Schnittbildstapel.

$P_L(x; y; n)$ bezeichnet den Pixel mit den Koordinaten $(x; y)$ innerhalb des Schnittbildes Nummer n des linken parallaxtischen Schnittbildstapels.

Als unterstes Teilbild des linken parallaxtischen Schnittbildstapels wird das unterste Teilbild des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels unverändert verwendet. Für die anderen Schnittbilder geht man wie folgt vor:

Entsprechend Fig. 6 erhält man den Pixel $P_L(x; y; n)$, indem man den Extraktionspunkt L mit dem Pixel mit den Koordinaten $(x; y)$ des untersten Schnittbildes ($n = 0; z^* = 0$) des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels durch einen gedachten Strahl, den Extraktionsstrahl, verbindet.

Als Pixel $P_L(x; y; n)$ des linken parallaxtischen Schnittbildstapels wird derjenige Pixel verwendet, den dieser Extraktionsstrahl im Schnittbild Nummer n des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels in der Höhe $z^* = n(\Delta z)(X_{\max})/(\Delta x)$ schneidet.

Der Pixel $P_L(x; y; n)$ kann auch durch Interpolation der an den Schnittpunkt angrenzenden Pixel des Schnittbildes Nummer n des Ausgangs-Schnittbildstapels gewonnen werden.

Das Schnittbild Nummer n des linken parallaxtischen Schnittbildstapels enthält nur Bildinformationen aus dem Schnittbild Nummer n des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels.

Der rechte parallaxtische Schnittbildstapel wird analog zum linken parallaxtischen Schnittbildstapel aus dem normierten Ausgangs-Schnittbildstapel gewonnen, indem anstelle des Extraktionspunktes L einen Extraktionspunkt R definiert wird. Der Extraktionspunkt R hat den gleichen Abstand vom Fußpunkt F wie der Extraktionspunkt L. Die Mittelachse und die Extraktionspunkte L und R liegen in einer Ebene. Der Winkel zwischen der Strecke RF und der Mittelachse wird als Extraktions-Teilwinkel θ_R bezeichnet. Die Summe der Extraktions-Teilwinkel θ_L und θ_R entspricht dem parallaxtischen Winkel für stereoskopisches Sehen.

Die gesamte Prozedur wird nun mit R als Extraktionspunkt und θ_R als Extraktions-Teilwinkel wiederholt und führt so zum rechten parallaxtischen Schnittbildstapel. Der rechte und der linke parallaxtische Schnittbildstapel bilden ein parallaxtisches Schnittbildstapelpaar, aus dem durch nichtlineare Schärfentieferweiterung ein Stereobildpaar mit erweiterter stereoskopischer Raumtiefe gebildet werden kann.

Das hier beschriebene Extraktionsverfahren ähnelt einer Zentralprojektion, mit dem Unterschied, daß die Pixel entlang der Projektionsstrahlen nicht projiziert, sondern extrahiert und den entsprechenden Teilbildern des zu erzeugenden parallaxtischen Schnittbildstapels zugewiesen werden. Es sind auch andere Extraktionsverfahren möglich, die zum Beispiel einer Parallelprojektion ähneln.

Ziel der Extraktionsverfahren ist es, aus dem Ausgangs-Schnittbildstapel zwei parallaxtische Schnittbildstapel zu erzeugen.

Um eine zusätzliche Beschleunigung der Generierung der beiden parallaxtischen Schnittbildstapel zu erreichen, wird weiterhin erfindungsgemäß folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

Der Ausgangsbildstapel selbst wird als Teilstapel eines parallaxtischen Schnittbildstapel-Paares verwendet und nur ein zusätzlicher Schnittbildstapel aus dem Ausgangsschnittbildstapel extrahiert. Dieser extrahierte Schnittbildstapel muß in Bezug auf den Ausgangs-Schnittbildstapel eine parallaxtische Projektionsrichtung besitzen. Das Ergebnis sind dann zwei zueinander parallaxtische Schnittbildstapel, von denen nur einer durch Extraktion gewonnen wurde, wodurch sich die

Gesamtzeit der Bildgenerierung verkürzt.

Das folgende Ausführungsbeispiel soll die Generierung eines parallaktischen Schnittbildstapelpaares durch Extraktion nur eines weiteren Schnittbildstapels aus dem Ausgangs-Schnittbildstapel erläutern.

Es wird ein normierter Ausgangs-Schnittbildstapel wie im obigen Ausführungsbeispiel vorausgesetzt (siehe Fig. 4).

Da der normierte Ausgangs-Schnittbildstapel als Teilbildstapel eines parallaktischen Schnittbildstapelpaares verwendet werden soll, muß der zusätzlich extrahierte Schnittbildstapel ähnliche Eigenschaften wie der normierte Ausgangs-Schnittbildstapel besitzen. Als besonders schnelle und einfache Methode zur Generierung des zweiten, parallaktischen Schnittbildstapels wird eine "Parallelextraktion" vorgeschlagen, die einer Parallelprojektion ähnelt.

Dies kann wie folgt geschehen:

Entsprechend Fig. 7 wird ein Extraktions-Hilfsstrahl definiert, der im normierten Ausgangs-Schnittbildstapel durch den Punkt F verläuft und mit der Mittelachse den Extraktionswinkel θ einschließt, der dem parallaktischen Winkel für stereoskopisches Sehen entspricht. Die Mittelachse und der Extraktions-Hilfsstrahl liegen in der x-z-Ebene.

$P_E(x; y; n)$ bezeichnet den Pixel mit den Koordinaten $(x; y)$ innerhalb des Schnittbildes Nummer n , des aus dem normierten Ausgangsschnittbildstapel noch zu extrahierenden Schnittbildstapels, dessen Generierung nun erläutert werden soll.

Man erhält den Pixel $P_E(x; y; n)$, indem man den Extraktions-Hilfsstrahl derart parallel verschiebt, daß er den Pixel mit den Koordinaten $(x; y)$ des untersten Schnittbildes des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels ($n = 0; z^* = 0$) schneidet. Der Schnittpunkt des parallel verschobenen Extraktions-Hilfsstrahls mit dem Schnittbild Nummer n des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels in der Höhe $z^* = n(\Delta z) (X_{\max})/(\Delta x)$ wird mit U bezeichnet (siehe Fig. 8).

Als Pixel $P_E(x; y; n)$ wird nun derjenige Pixel des Schnittbildes Nummer n des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels verwendet, in welchen der Schnittpunkt U fällt.

Weiterhin ist die Gewinnung der Bilddaten des Pixels $P_E(x; y; n)$ auch durch Interpolation der an den Schnittpunkt U angrenzenden Pixel innerhalb des Schnittbildes Nummer n des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels möglich.

Falls der parallel verschobene Extraktions-Hilfsstrahl durch den Pixel mit den Koordinaten $(x; y)$ des Schnittbildes Nummer 0 des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels nicht alle Schnittbilder des Stapels schneidet, sollten alle Pixel $P_E(x; y; n)$ mit $0 \leq n \leq N_{\max} - 1$ den Wert schwarz zugewiesen bekommen. Dies ist vorteilhaft, da sonst in den Randgebieten des durch Extraktion erzeugten, parallaktischen Schnittbildstapels die Ebenenzahl geringer als in den Kerngebieten des Stapels wäre, und diese inhomogene Bildstapelstruktur bei der weiteren Verarbeitung schwieriger zu handhaben ist als diese "homogenisierte Form".

Die Rand- und Kerngebiete des normierten Ausgangs-Schnittbildstapels bei der Extraktion veranschaulicht Fig. 9.

Oft ist es wünschenswert, die räumliche Gestalt eines Objektes durch eine Animation auf dem Computer anschaulicher darzustellen. Für solch eine Animation werden jedoch die räumlichen Bilddaten des Objektes (meist in Form von Mengen diskreter Punkte) benötigt,

damit der Rechner das Objekt entsprechend drehen und zoomen kann. Aus den beiden parallaktischen Schnittbildstapeln können diese erforderlichen Daten jedoch nur mit sehr hohem Rechenaufwand und in ungenügender Qualität (zu geringe Auflösung in z-Richtung ..) gewonnen werden.

Um dennoch eine Animation des Objektes ohne die 3D-Daten des Objektes in Form von Punktmengen erzeugen zu können, wird deshalb erfindungsgemäß durch mehrfache Nutzung des oben beschriebenen Extraktionsverfahrens eine Serie von Schnittbildstapeln generiert, die sich jeweils durch den Extraktionswinkel unterscheiden. Bei der Extraktion der verschiedenen Schnittbildstapel soll die Extraktionswinkelreihe θ kontinuierlich aufeinanderfolgende Werte mit gleichem Abstand $\Delta\theta$ durchlaufen.

Die Extraktionswinkel der Extraktionswinkelreihe entspricht bei der Generierung der einzelnen Schnittbildstapel für die Animation nicht mehr dem parallaktischen Winkel für stereoskopisches Sehen, sondern nimmt die für die Animation je nach Winkelschritt und Start-Stop-Winkelposition erforderlichen diskreten Werte an.

Aus der sich ergebenden Serie von Schnittbildstapeln kann nun eine Serie von schärfentieferweiterter Projektionen berechnet werden, die das Objekt jeweils unter dem Extraktionswinkel θ abbilden und wiederum zu einer Animation zusammengesetzt werden können, wodurch eine Mono-Animation entsteht.

Die Generierung von Stereo-Animationen läuft analog zur Generierung der Mono-Animation ab, jedoch wird erfindungsgemäß zusätzlich zur Extraktion jedes Schnittbildstapels in der Winkelposition θ ein weiterer Schnittbildstapel in der Winkelposition $\theta + \theta_p$ extrahiert, wobei der Winkel θ_p dem parallaktischen Winkel für stereoskopisches Sehen entspricht. Die in der jeweiligen Winkelposition θ bzw. $\theta + \theta_p$ erzeugten Schnittbildstapel bilden ein Schnittbildstapelpaar. Durch diese Vorgehensweise wird eine Serie von parallaktischen Schnittbildstapelpaaren gebildet.

Aus jedem dieser Schnittbildstapelpaare wird dann jeweils das linke und das rechte Teilbild eines Stereobildpaares in Form einer schärfentieferweiterter Projektion berechnet. Durch Aneinanderreihung der so erzeugten Stereobildpaare entsteht eine Stereo-Animation.

Die mit dieser Animationstechnik gewinnbaren Animationen sind sehr aussagekräftig und besitzen gegenüber konventionellen Animationstechniken (Punktmengendrehung...) den Vorteil, daß sie einfacher realisierbar sind und eine hohe Auflösung besitzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung parallaktischer Schnittbildstapelpaare für die hochauflösende Stereomikroskopie und/oder 3D-Animation mit konventionellen, nicht stereoskopischen Lichtmikroskopen, mit dem in Beobachtungsrichtung hintereinanderliegende optische Schnitte durch das zu beobachtende Objekt erzeugt werden und unter Verwendung einer digitalen Elektronik, welche die optischen Schnitte pixelweise abspeichert und verarbeitet, wobei durch nichtlineare Schärfentieferweiterung zwei schärfentieferweiterte Abbildungen erzeugt werden, die ein Stereobildpaar ergeben, durch dessen Betrachtung das mikroskopische Objekt räumlich gesehen werden kann, dadurch

gekennzeichnet, daß durch eine geometrische Transformation aus einem Ausgangs-Schnittbildstapel ein weiterer Schnittbildstapel extrahiert wird, der mit dem Ausgangs-Schnittbildstapel ein parallaktisches Schnittbildstapelpaar bildet, wobei der Extraktionswinkel dem parallaktischen Winkel für stereoskopisches Sehen entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwei zueinander parallaktische Schnittbildstapel durch geometrische Transformation aus einem Ausgangs-Schnittbildstapel extrahiert werden, wobei die Summe der Extraktions-Teilwinkel θ_L und θ_R der beiden parallaktischen Schnittbildstapel dem parallaktischen Winkel für stereoskopisches Sehen entsprechen.

3. Verfahren zur Erzeugung hochauflösender Mono-Animationen, dadurch gekennzeichnet, daß aus einem einzigen Schnittbildstapel durch geometrische Transformation eine Serie von Schnittbildstapeln mit einer Reihe von diskreten Extraktionswinkeln θ extrahiert wird, wobei aus den einzelnen Schnittbildstapeln der Schnittbildstapelserie durch nichtlineare Schärfentieferweiterung die Teilbilder der Animation berechnet werden.

4. Verfahren zur Erzeugung hochauflösender Stereo-Animationen, dadurch gekennzeichnet, daß aus einem einzigen Schnittbildstapel durch geometrische Transformation eine Serie von Schnittbildstapeln mit einer Reihe von diskreten Extraktionswinkeln θ extrahiert wird und zu jeder der diskreten Winkelpositionen θ ein weiterer Schnittbildstapel unter dem Extraktionswinkel $\theta + \theta_p$ extrahiert wird, wobei der Winkel θ_p dem parallaktischen Winkel für stereoskopisches Sehen entspricht, so daß parallaktische Schnittbildstapelpaare entstehen, aus denen durch nichtlineare Schärfentieferweiterung Stereobildpaare berechnet werden, welche dann zu einer Stereo-Animation aneinandergereiht werden.

5. Verfahren zur Erzeugung parallaktischer Schnittbildstapelpaare für die hochauflösende Stereomikroskopie und/oder 3D-Animation mit konventionellen, nicht stereoskopischen Lichtmikroskopen, mit dem in Beobachtungsrichtung hintereinanderliegende optische Schnitte durch das zu beobachtende Objekt erzeugt werden und unter Verwendung einer digitalen Elektronik, welche die optischen Schnitte pixelweise abspeichert und verarbeitet, wobei durch nichtlineare Schärfentieferweiterung zwei schärfentieferweiterte Abbildungen erzeugt werden, die ein Stereobildpaar ergeben, durch dessen Betrachtung das mikroskopische Objekt räumlich gesehen werden kann, dadurch gekennzeichnet,

daß zur stereoskopischen Darstellung des zu beobachtenden Objektes eine zweite Serie optischer Schnitte in einer zweiten Richtung durch das Objekt gelegt und abgespeichert wird, welche gegenüber der ersten Richtung um den stereoskopischen Konvergenzwinkel geneigt ist,

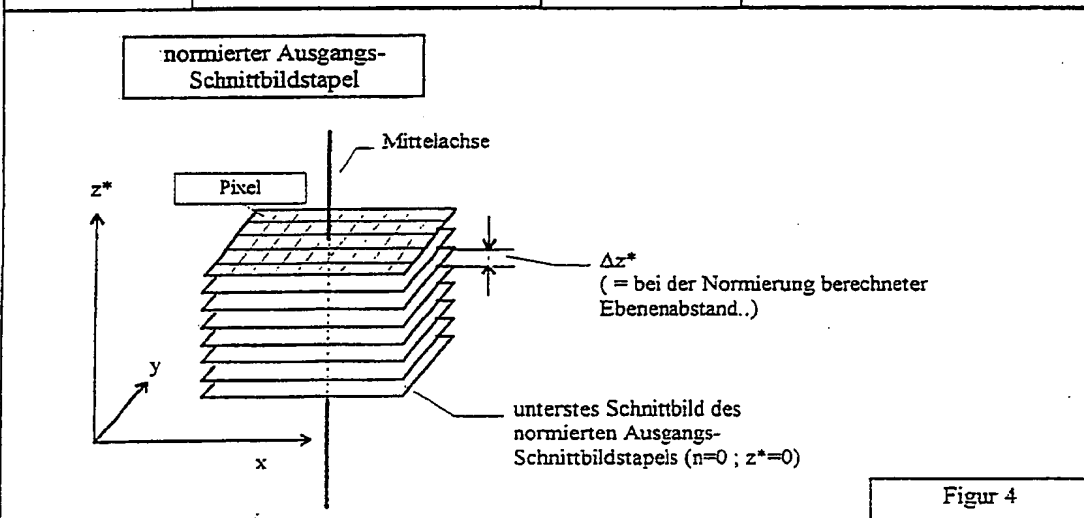
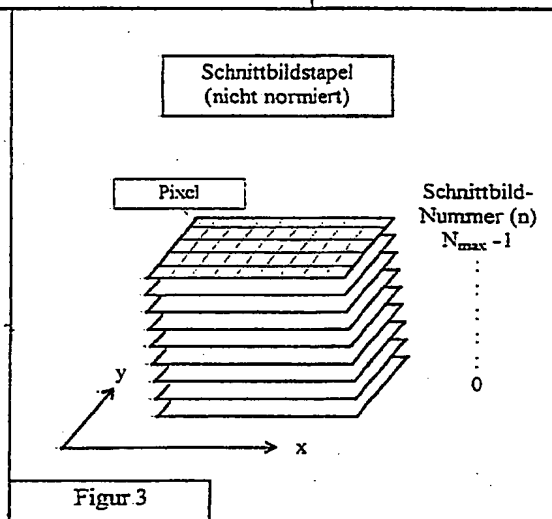
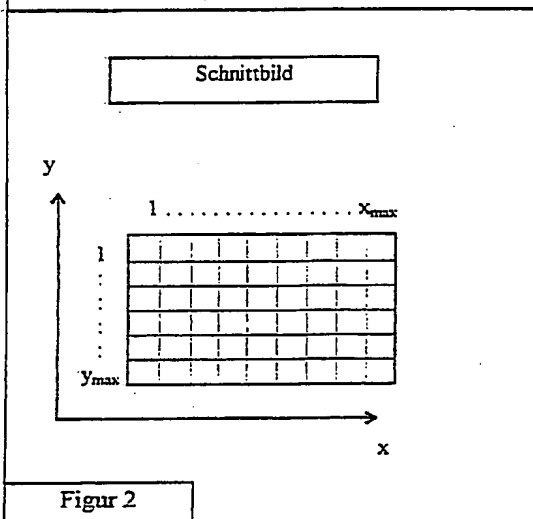
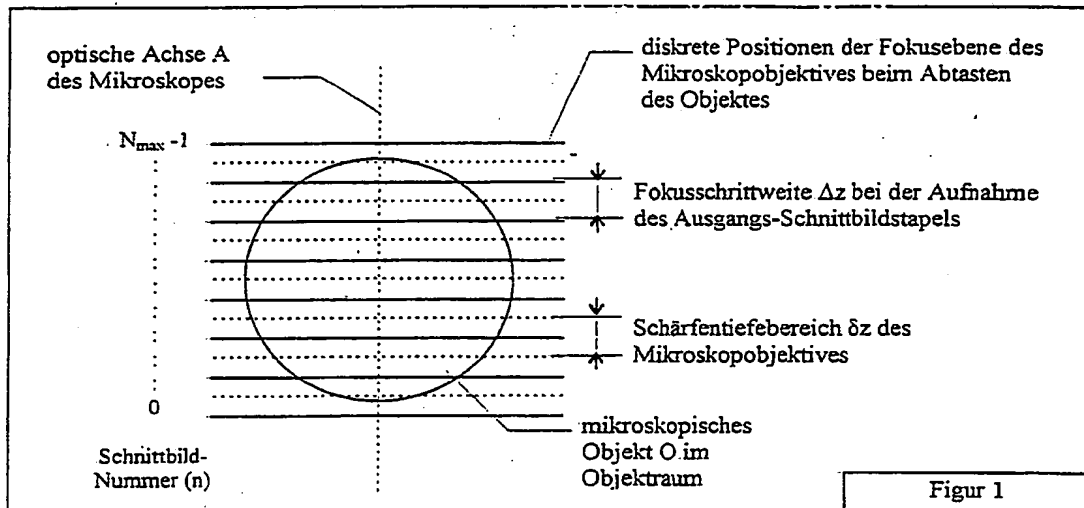
daß der Schnittabstand innerhalb der Schnittbildserien jeweils kleiner als die Schärfentiefe des Lichtmikroskopes ist und die beiden Serien denselben Objektbereich erfassen, wobei die optischen Schnitte beider Serien dem gleichen Bildverarbeitungsprozeß unterworfen werden und für jeden optischen Schnitt die für diesen Schnitt scharfen Pixel in bekannter Weise mittels Gradientenbetrachtung

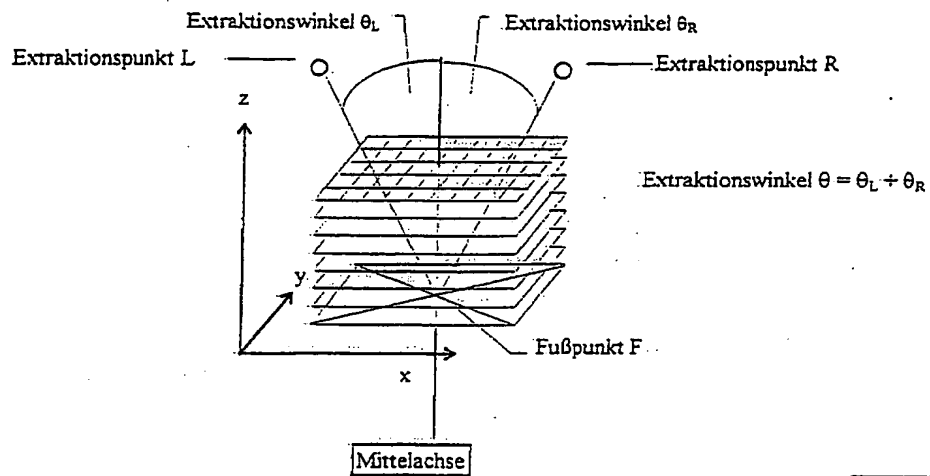
erkannt und dabei gewichtet werden, und die als scharf erkannten Pixel aller optischen Schnitte zu einer einzigen Überlagerungsabbildung überlagert werden, wobei die beiden Überlagerungsabbildungen der beiden Schnittbildserien das gewünschte Stereobildpaar definieren und wobei weiterhin das Legen der zweiten Serie optischer Schnitte durch geometrische Transformation aus einem Ausgangs-Schnittbildstapel erfolgt, wobei der zweite Schnittbildstapel mit dem Ausgangs-Schnittbildstapel ein parallaktisches Schnittbildstapelpaar bildet und der Extraktionswinkel dem parallaktischen Winkel für stereoskopisches Sehen entspricht.

Hierzu 4. Seite(n) Zeichnungen

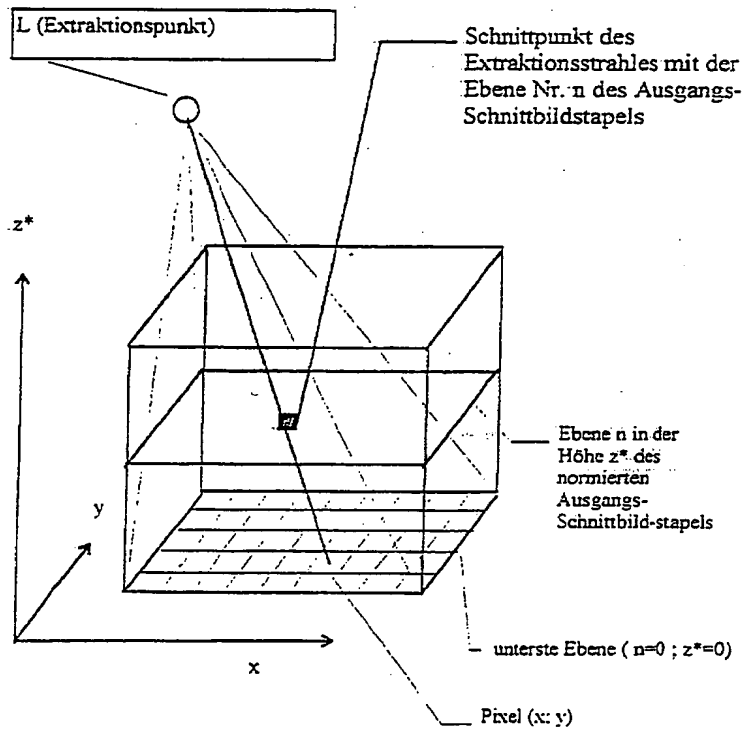
- Leerseite -

APR 1971





Figur 5



Figur 6

